

SISTEM PROTEKSI GANGGUAN FASA TANAH MELALUI PEMASANGAN DIRECTIONAL GROUND RELAY (DGR) PADA PENYULANG 20 KV SEMPIDI GI KAPAL

I Gusti Putu Arka

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O. Box 1064, Badung, Bali
Email : arka.igustiputu@yahoo.com

Abstrak : Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan sistem proteksi terhadap gangguan fasa tanah melalui pemasangan directional ground relay (DGR) pada Penyulang Sempidi Gardu Induk Kapal. Penyulang Sempidi merupakan salah satu penyulang 20 kV yang dicatut dari Gardu Induk (GI) Kapal dengan panjang penyulang 47,775 km dan panjang Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 21,199 km. Sistem proteksi ini menerapkan metode pentahanan netral transformator daya melalui tahanan tinggi 500 ohm dan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah maksimum 25 A. Karena arus gangguan yang relatif kecil, maka digunakan Directional Ground Relay (DGR) sebagai relay pengaman gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. DGR bekerja berdasarkan tegangan residu yang timbul pada saat terjadi gangguan hubung singkat ke tanah. Untuk mendeteksi tegangan residu digunakan Grounding Potential Transformer (GPT) dan untuk mendeteksi arus residu digunakan Zero Current Transformer (ZCT).

Kata kunci : Proteksi, Gangguan, Relay

PROTECTION SYSTEM OF GROUND PHASA BY USING DIRECTIONAL GROUND RELAY (DGR) AT 20 KV SEMPIDI FEEDER IN THE KAPAL MAIN STATION

Abstract : The research was done to find protection system for saving grounded phasa distortion by using directional ground relay (DGR) in the Sempidi feeder of GI Kapal, Badung regency, Bali. Sempidi feeder is one feeder 20 kV that is supplied from GI Kapal with long feeder of 47,775 km and long SUTM of 21,199 km. The protection system applies neutral grounding of power transformator via high resistance of 500 ohm and a 25 A-maximum short circuit current phase to ground. Because distortion current is small that a directional ground relay (DGR) was used as a protecting relay to one phasa short circuit distortion to ground. DGR works based on residual voltage that happened when there is a short circuit distortion to ground. To detect residual voltage, ground potential transformer (GPT) was used and to detect residual current , a Zero Current Transformer (ZCT) was used.

Keywords: Protection, Distortion, Relay

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat, oleh karena itu kehandalan dalam penyaluran energi listrik tetap di jaga oleh penyedia jasa layanan dalam hal ini PT. PLN. Penyulang Sempidi merupakan salah satu penyulang yang dicatut dari Gardu Induk (GI) Kapal mempunyai peranan dalam mencatu sebagian daerah Badung dan sekitarnya.

Dalam pendistribusian listrik, penyulang Sempidi harus dapat menjaga kehandalan dan kontinyuitas distribusi tenaga listrik. Beberapa kendala yang terjadi yang dapat menyebabkan penyulang tidak dapat menjaga kehandalan dan kontinyuitas tersebut antara lain adalah gangguan antar fasa, dan gangguan fasa tanah. Sebelumnya telah dilakukan penelitian yang menggunakan pengaman relay pada penyulang oleh Yoyok Triyono dkk (2013) dengan memakai relay jenis OCR dan DFR pada penyulang Rembang. Kemudian penelitian oleh Tirza Nova dkk (2013) pada yang memakai pengaman *relay OCR and GFR*. Sementara pada penelitian ini akan digunakan jenis DGR (*Directional Ground Relay*) yang dipasangkan pada penyulang Sempidi.

Berdasarkan SPLN 52 – 32 : 1983 tentang Pola Pengamanan Sistem, pentanahan netral dengan tahanan tinggi dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dengan mengutamakan keselamatan umum. Sebagian besar gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang disebabkan penggunaan saluran udara (*Overhead Lines*) terkena pohon yang tumbang atau gangguan lainnya, sehingga dibutuhkan relay yang sensitif terhadap arus gangguan kecil dengan dilengkapi sudut (arah), yaitu *Directional Ground Relay* (DGR). Pengaman ini bekerja berdasarkan komponen tegangan, komponen arus dan sudut fasa gangguan yang timbul akibat ketidak seimbangan arus dan tegangan gangguan pada saat terjadinya gangguan hubung singkat satu fasa.

Permasalahan

Adapun permasalahan yang ditemui penulis pada penelitian ini adalah :

1. Mengapa perlu dibuat sistem proteksi pada penyulang Sempidi ?
2. Apa tujuan dipasangi DGR ?
3. Bagaimana Konstruksi pemasangan DGR ?

Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui mengapa diperlukan sistem proteksi sepanjang Jaringan Penyulang Sempidi.
2. Memahami tujuan dipasangnya DGR pada Penyulang Sempidi
3. Menentukan konstruksi pemasangan DGR.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Rancangan Penelitian

Dalam pengumpulan data untuk menyelesaikan penelitian ini ada beberapa metode yang penulis gunakan yaitu :

a. Metode Observasi

Penulis mendapatkan berdasarkan pengamatan langsung terhadap pemasangan kawat tanah pada penyulang Sempidi Gardu Induk Kapal.

b. Metode Wawancara

Penulis mendapatkan data dengan cara melakukan diskusi dan tanya jawab dengan narasumber yang menguasai bidang ilmu yang diangkat sebagai judul penulisan proyek akhir ini.

2.2. Instrumen Penelitian

Penulis melakukan pengolahan terhadap data – data yang telah dikumpulkan dengan persamaan – persamaan sebagai berikut:

Dengan rumus pentanahan elektroda batang tunggal:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right) \text{ ohm} \quad \dots \dots \quad (1)$$

Dimana :

R = Tahanan pembumian elektroda batang [Ω]

ρ = Tahanan jenis tanah [$\Omega \cdot m$]

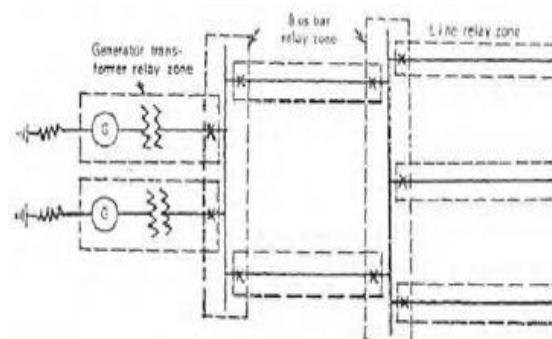
L = Panjang batang yang tertanam [m]

d = Diameter elektroda batang [m]

2.3. Sistem Proteksi

Tujuan dari sistem proteksi adalah untuk menjalankan circuit breaker secepat mungkin terhadap gangguan yang terjadi. Sehingga bisa mencegah/meminimaliskan kerusakan pada peralatan yang terjadi akibat gangguan.

Peralatan sistem pengaman terdiri atas relai, pemutus daya (*Circuit Breaker*), trafo arus (CT), dan trafo tegangan (PT).



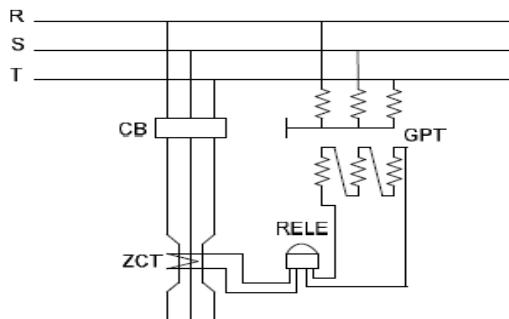
Gambar 1. Kawasan Pengaman

Sumber: GI Kapal

Bila gangguan terjadi pada suatu kawasan maka rele pada kawasan tersebut akan segera akan

mendeteksi dan melepaskan diri dari bagian lainnya. Relai pengaman dan kawasan pengamannya dapat dilihat pada gambar 1.

2.1. Rele Tanah Terarah (DGR)



Gambar 2. Hubungan DGR, GPT, dan ZCT
Sumber: GI Kapal

Rele arah digunakan apabila arus gangguan mengalir dari banyak jurusan menuju ke titik gangguan melalui lokasi dari rele. Sehingga relai tanah berfungsi untuk memberi sinyal pada CB untuk mengamankan satu arah. Rele Arah Tanah bekerja berdasarkan komponen arus (I_o) yang disuplai oleh ZCT (Zero Current Transformer) dan komponen tegangan (V_o) yang disuplai oleh GPT (Ground Potential Transformer). Kopel dari relai ini sebanding dengan: (Titarenko, M dan Noskov-Dukelsky, p. 123).

$$T = kU_r I_r \cos(\phi_r + \alpha) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- T = Torsi kerja rele
- K_r = Faktor perbandingan
- U_r = Tegangan residu
- I_r = Arus residu
- ϕ_r = Beda fasa antara U_r dan I_r
- α = Sudut karakteristik rele

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Teknis Objek

Data-data yang dipakai dalam penelitian ini meliputi:

- Data penyulang
- Data pemadaman karena gangguan
- Data pentanahan

3.1.1. Data Penyulang Sempidi Gardu Induk Kapal

Penyulang Sempidi memiliki karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1
Data Penyulang Sempidi

Panjang JTM	47771.41 meter
Panjang JTR	101497.04 meter
Kapasitas GD	15695 KVA
Jumlah Trafo GD	79 buah
Jumlah GD	77 buah
Jumlah tiang TM	980 buah
Jumlah tiang TM dengan PE	104 buah
Jumlah tiang TR	2763 buah
Pelanggan TM	10
Panjang sambungan TM	0
Total beban TM	9480000 VA
Jumlah sambungan TM	10 buah
Pelanggan TR	30190
Panjang sambungan TM	386230 meter
Beban TR	58425040 VA
Jumlah sambungan TR	30190 buah

Sumber : PLN Area Jaringan Bali Selatan

3.1.2 Data Pemadaman Penyulang Sempidi

Data pemadaman pada penyulang Sempidi dari bulan januari 2010 hingga februari 2011 ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2
Durasi pemadaman pada penyulang sempidi

Tanggal	Jam_Trip	Jam-Masuk	Durasi
12/01/2010	6:09:04	6:11:34	0.0417
28/02/2010	1:14:50	1:16:38	0.03
07/07/2010	2:59:14	3:01:34	0.0556
23/07/2010	19:10:41	19:11:31	0.0139
30/07/2010	3:14:50	3:16:38	0.03
02/12/2010	17:58:10	18:00:21	0.0364
14/12/2010	8:29:09	8:31:12	0.0342
01/01/2011	14:18:20	14:21:31	0.0531
03/01/2011	4:49:31	4:51:31	0.033
08/02/2011	15:18:20	15:21:31	0.0531

Sumber: GI Kapal

3.1.3 Data pentanahan

Data pentanahan dan pengukuran tahanan pentanahan pada penyulang Sempidi ditunjukkan pada tabel 3 dan 4 berikut.

Tabel 3
Data Elektroda Batang Yang Terpasang

Panjang (L)	3 meter
Diameter penampang (D)	2 cm (1.5 cm baja dengan 0.25 cm tapisan tembaga)
Tahanan Jennis Tanah	40 Ω m (tanah berair) dan 100 Ω m (tanah pertanian)
Jumlah elektroda batang terpasang	24 buah

Sumber: GI Kapal

Tabel 4
Data pengukuran tahanan pentanahan setiap titik

titik pentanahan	tahanan pentanahan	titik pentanahan	tahanan pentanahan
1	23.24	13	12.24
2	19.64	14	10.84
3	11.68	15	11.1
4	13.17	16	15.25
5	13.65	17	15.1
6	15.35	18	17.2
7	13.12	19	17.31
8	15.21	20	15.25
9	12.08	21	18.55
10	11.05	22	16.35
11	11.21	23	14.64
12	11.21	24	18.77

Sumber: GI Kapal

3.2 Pembahasan

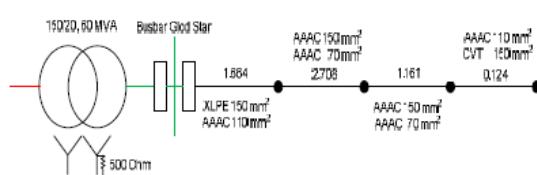
Penyulang Sempidi merupakan salah satu penyulang yang berada dalam lingkup pengawasan dan pemeliharaan Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Kapal. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah Pada Penyulang Sempidi, dengan meninjau 4 titik gangguan diperoleh hasil seperti pada table 5.

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah maksimum dan minimum yang sudah dilakukan dalam semua kondisi yang dapat terjadi, didapatkan besar arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah maksimum pada penyulang Sempidi adalah sebesar 24,13290607 A dan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah minimum sebesar 7,488070009 A dimana masih sesuai dengan ketentuan batas arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah untuk daerah High resistance yaitu maksimum 25 A.

3.2.1 Setting Arus dan Waktu Kerja dari DGR

Pada DGR pada penyulang Sempidi terdapat tap setting untuk arus sebesar 1-2-3-4-5 pada kumparan ZCT.

$$\begin{aligned} \text{Setting arus kerja DGR} &= 10\% \times I_f \\ \text{Maksimum} &= 10\% \times 24,13290607 \\ &= 2,413290607 \text{ A} \end{aligned}$$



Gambar 4. Jaringan Penyulang Sempidi
Sumber: GI Kapal

Tabel 5
Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Maksimum dan Minimum

Tegangan (kV)	Arus Gangguan (A)				
	Maksimum	Minimum			
	I	II	III	IV	
20,9	24,132 90607	7,5099 03794	7,4950 37991	7,4886 0537	7,4880 70009

Sumber: GI Kapal

Perhitungan dalam menentukan besarnya arus kerja sebesar $\pm 10\%$ dari besarnya arus gangguan maksimum ini sesuai kesepakatan antara pihak PT. PLN (Persero) dengan pihak UPT (Unit Pelayanan Tranmisi) diasumsikan bahwa besarnya arus gangguan fasa tanah maksimum yang terjadi tidak kurang dari 2A. Pemilihan asumsi 10% digunakan karena memperhitungkan adanya impedansi gangguan yang menyebabkan hubung singkat 1 fasa ketanah. Dengan adanya impedansi gangguan maka arus hubung singkat 1 fasa ketanah menjadi lebih kecil dan dengan setting arus kerja 2 A diharapkan kepekaan dari EGR-EC untuk mendekripsi dan mengamankan gangguan dari sistem. Untuk setting waktu ada DGR EGR-EC ini memiliki waktu kerja definite time 1 detik. Setting waktu ini merupakan standar waktu kerja yang digunakan oleh PLN pada hampir seluruh tipe DGR termasuk EGR-EC.

3.2.2 Penentuan perlunya dan tujuan dipasangi DGR di Penyulang Sempidi

Dalam perencanaan awal penyulang sempidi, PLN Distribusi Bali menggunakan sistem Jaringan 3 phasa 3 kawat. Namun dalam beberapa tahun terakhir dilihat dari data gangguan sebelum terpasangnya kawat tanah, terdapat sejumlah gangguan. Sehingga mengurangi kehandalan kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan.

3.2.3 Sistem pentanahan kawat tanah yang digunakan di Penyulang Sempidi

Dalam sistem pentanahan kawat tanah yang terpasang pada penyulang sempidi menggunakan elektroda batang, dimana kawat tanah diketanahkan setiap 5 GW. Pentanahan ini terpasang dengan tahanan terkecil 10,84 ohm dan tahanan terbesar 23,24 ohm, meski dapat diterima. Sebaiknya dilakukan sistem pentanahan sebaik mungkin agar perlindungan lebih baik. Dengan menggunakan persamaan (1) dapat dihitung sebagai berikut.

Contoh: titik pentanahan 1

$$23.24 = \frac{\rho}{2 \times 3.14 \times 3} (\ln \frac{4 \times 3}{0.02} - 1)$$

$$23.24 = \frac{\rho}{18.84} (6.3969 - 1)$$

$$23.24 \times 18.84 = \rho (5.3969)$$

$$\rho = \frac{437.84}{5.3969} = 81.2 \text{ ohm}$$

Tabel 6
Hasil perhitungan tahanan jenis tanah masing-masing titik pentanahan

titik pentanahan	Rbt (ohm) pengukuran	L (meter)	d (meter)	P (ohm.m)
1	23.24	3	0.02	81.12835
2	19.64	3	0.02	68.56114
3	11.68	3	0.02	40.77363
4	13.17	3	0.02	45.97506
5	13.65	3	0.02	47.65069
6	15.35	3	0.02	53.58521
7	13.12	3	0.02	45.80052
8	15.21	3	0.02	53.09648
9	12.08	3	0.02	42.16999
10	11.05	3	0.02	38.57437
11	11.21	3	0.02	39.13291
12	11.21	3	0.02	39.13291
13	12.24	3	0.02	42.72853
14	10.84	3	0.02	37.84128
15	11.1	3	0.02	38.74891
16	15.25	3	0.02	53.23612
17	15.1	3	0.02	52.71248
18	17.2	3	0.02	60.04336
19	17.31	3	0.02	60.42736
20	15.25	3	0.02	53.23612
21	18.55	3	0.02	64.75606
22	16.35	3	0.02	57.0761
23	14.64	3	0.02	51.10667
24	18.77	3	0.02	65.52406

Sumber: hasil perhitungan dan pengukuran

System pentanahan untuk kawat tanah yang baik digunakan dipenyulang sempidi dapat diperhitungkan menggunakan besar tahanan jenis tanah yang sudah dihitung, dimana masing-masing pentanahan sebaiknya memiliki resistensi maksimum 5 ohm.

Perhitungan tahanan pentanahan pada salah satu titik pentanahan,pentanahan titik 1:

$$R = \frac{82}{2 \times 3.14 \times 3} (\ln \frac{4 \times 3}{0.02} - 1)$$

$$R = \frac{82}{18.84} (6.3969 - 1)$$

$$R = 4.35 (5.3969)$$

$$R = 23.48 \text{ ohm}$$

Untuk mendapatkan nilai pentanahan maksimum 5ohm, ubah mempergunakan elektroda batang dengan panjang 6 dan luas penampang 3 cm^2 .jika

masih belum memenuhi dapat menggunakan sistem pentanahan pararel.

Perhitungan tahanan pentanahan pada salah satu titik pentanahan,pentanahan titik 1:

$$R = \frac{82}{2 \times 3.14 \times 6} (\ln \frac{4 \times 6}{0.03} - 1)$$

$$R = \frac{82}{37.68} (6.6846 - 1)$$

$$R = 2.153 (5.6846)$$

$$R = 12.24 \text{ ohm}$$

$$R \leq 5 \text{ ohm} = \frac{12.24}{5} = 2.448 \text{ buah}$$

Agar dibawah 5ohm maka menggunakan 3 buah batang elektroda.

Tabel 7
Sistem pentanahan yang baik digunakan pada masing-masing titik pentanahan

Titik Penta nah	Rbt (ohm) Pengu kuran	L (meter)	d (meter)	jumlah pararel	Rbt ohm
1	82	6	0.03	3	4.079823
2	69	6	0.03	3	3.447837
3	41	6	0.03	2	3.075667
4	46	6	0.03	2	3.468025
5	48	6	0.03	2	3.594422
6	54	6	0.03	2	4.042079
7	46	6	0.03	2	3.454859
8	53	6	0.03	2	4.005214
9	43	6	0.03	2	3.180998
10	39	6	0.03	2	2.909771
11	40	6	0.03	2	2.951903
12	40	6	0.03	2	2.951903
13	43	6	0.03	2	3.22313
14	38	6	0.03	2	2.854472
15	39	6	0.03	2	2.922937
16	54	6	0.03	2	4.015747
17	53	6	0.03	2	3.976248
18	60	6	0.03	2	4.529236
19	61	6	0.03	2	4.558202
20	54	6	0.03	2	4.015747
21	65	6	0.03	2	4.884728
22	57	6	0.03	2	4.305407
23	52	6	0.03	2	3.855117
24	66	6	0.03	2	4.94266

Sumber: hasil perhitungan

3.3 Analisa

Dari hasil pembahasan yang dilakukan dimana:

3.3.1 Perlu Dipasangnya DGR

Directional Ground Relay (DGR) bekerja berdasarkan komponen tegangan dan arus residu yang timbul akibat ketidak seimbangan arus dan tegangan residu pada saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.langsung terhadap penghantar fasa SUTM 20 KV yang terjadi pada penyulang Sempidi. Sehingga perlunya pemasangan DGR sebagai pengaman gangguan

fase tanah. Setting DGR tipe pada Penyulang sempidi adalah $I_0 = 2 \text{ A}$, $V_0 = 10 \text{ V}$

3.3.2 Sistem Pentanahan

Dalam sistem pentanahan ini mempergunakan elektroda batang. Dimana dalam sistem pentanahan yang baik digunakan pada penyulang sempidi adalah mempararel beberapa elektroda batang sejumlah 2-3 elektroda dimasing-masing titik pentanahan, dengan batang elektroda yang memiliki ukuran panjang 6 meter dan luas penampang 3 cm². Sehingga didapat nilai pentanahan dibawah 5 ohm.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisa yang telah diuraikan diatas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari perhitungan yang telah didapat melalui analisis data, didapatkan beberapa arus gangguan yang terjadi disetiap titik yang telah ditentukan. Untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah maksimum sebesar 24.13290607 A dan untuk arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah minimum sebesar 7.488070009 AS
2. Directional Ground Relay (DGR) bekerja berdasarkan komponen tegangan dan arus residu yang timbul akibat ketidak seimbangan arus dan tegangan residu pada saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.langsung terhadap penghantar fasa SUTM 20 KV yang terjadi pada penyulang Sempidi. Sehingga perlunya pemasangan DGR sebagai pengaman gangguan fase tanah. Setting DGR tipe pada Penyulang sempidi adalah $I_0 = 2 \text{ A}$, $V_0 = 10 \text{ V}$
3. Dalam sistem pentanahan ini mempergunakan elektroda batang. Dimana dalam pengukuran pentanahannya tahanan terkecil 10.84 ohm dan tahanan terbesar 23.24 ohm, masih dapat diterima.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Pabla, AS. *Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta, 1994.
- [2.] Daman Suparman. 2010. *Sistem Pentanahan Jaringan Distribusi*. Available from <http://daman48.files.wordpress.com/2010/11/materi-10-sistem-pantanahan-jaringan-distribusi.pdf> Accesed on June 02th 2012.
- [3.] Gonen, Turan. *Electric Power Distribution System Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1986.
- [4.] Moelyono, Nono. *Pengantar Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, ITS, 1999.
- [5.] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000.
- [6.] PT. PLN (Persero). 2010. *Buku 5, Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan: PT.PLN.
- [7.] Setyo Rendra, Prabudhi. 2007. *Sistem Jaringan Distribusi 20 kV*. Available from <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-8336-2203109014-bab%201.pdf>. Accesed on Mei 05th 2012.
- [8.] SPLN 2 : 1978. *metoda pentanahan untuk sistem transmisi tegangan tinggi 500 kV , 150 kV dan Distribusi tegangan menengah 20 kV*. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [9.] Sudirman, Sumarto. 2009. *Empat Pola Pengamanan Sistem Distribusi Di Lingkungan PLN*. Available from <http://bluemild.wordpress.com/2009/02/09/mpat-pola-pengamanan-sistem-distribusi-di-lingkungan-pln/>. Accesed on June 02th 2012.
- [10.] Tirza Nova, Syahrial. 2013. *Perhitungan Setting Relay OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan*, Jurnal Reka Elkomika Vol.1 No.1.
- [11.] Triyono, Yoyok, Oentoseno Penangsang. 2013. *Analisis Studi Rele Pengaman (Over Current Relay Dan Ground Fault Relay) pada Pemakaian Distribusi Daya Sendiri dari PLTU Rembang*, Jurnal Teknik Pomits Vol.2.
- [12.] Zuhal. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta: 2000. PT. Gramedia Pustaka Utama.